

# Rezente Hebung der Hohen Tauern und geologische Interpretation

VON ERICH SENFTL und CHRISTOF EXNER \*)

Mit 3 Abbildungen

Schlüsselwörter

Nivellement  
Wiederholungsnivellement  
Erdkrustenbewegungen  
Tauernfenster  
Neotektonik  
säkulare Kompaktion

## Inhalt

Zusammenfassung

Summary

Résumé

Über rezente Hebungen der Hohen Tauern (E. SENFTL)

Das Nivellement von 1906/1909/1910

Das Nivellement von 1949

Das Nivellement von 1969

Das Nivellement von 1970/71

Die Höhenvergleiche

Literatur

Geologische Interpretation der rezenten Hebungskurve im Querschnitt durch die Hohen Tauern (CH. EXNER)

Relativbewegung zwischen Höhenmarke und anstehendem Fels

Feldgeologische Beurteilung der Situation der einzelnen Höhenmarken

Geologische Interpretation

Literatur

## Zusammenfassung

Der Vergleich der Präzisionsnivellements aus den Jahren 1906/09/10, 1949 und 1969/70/71 auf der Linie Lend—Tauernstunnel—Lendorf zeigt eine systematische Zunahme der Höhenunterschiede in Richtung Nord—Süd. Daraus läßt sich auf eine Hebung der Hohen Tauern im Betrag von etwa 1 mm pro Jahr mit dem Maximum zwischen den Bahnhöfen Penk und Kolbnitz schließen.

Die Kurve der geodätisch ermittelten rezenten vertikalen Verschiebungsbeträge verläuft annähernd parallel zur Oberkante Penninikum im Querprofil durch die Hohen Tauern. Die Kurve ist auch konform mit der Kuppel der Tauerngneise des Hochalm-Ankogel-Massives. Aber das Maximum der Hebungskurve befindet sich in der steilen Wurzelzone am Südrande der Hohen Tauern, und zwar in der Matreier Zone und in der Wurzel des Deckensystems der Oberen Schieferhülle. Die intensive Hebung der Wurzelzone dürfte wahrscheinlich erst seit Pliozän oder Pleistozän aktiv sein.

\*) Anschrift der Verfasser: Oberrat Dr. ERICH SENFTL, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, A-1082 Wien, Friedrich-Schmidt-Platz 3. Univ.-Prof. Dr. CHRISTOF EXNER, Geologisches Institut der Universität, A-1010 Wien, Universitätsstraße 7.

## Summary

The comparison of the precise levellings of the years 1906/09/10, 1949 and 1969/70/71 along the line Lend—railway-tunnel of the Hohe Tauern—Lendorf gives a systematic increase of the differences in elevation from North to South. An uplift of the Hohe Tauern of about 1 mm/year is inferred. The maximum of the uplift is localized between the railway-stations Penk and Kolbnitz.

The curve of the geodetically observed recent vertical movements runs nearly parallel to the top of Penninicum along the profile across the Hohe Tauern. The curve runs also conformably to the dome of the gneisses of the Hochalm-Ankogel-Massif. But the maximum of the curve of uplift is localized on the steep zone of roots nearby the southern rim of the Hohe Tauern (zone of Matrei and root-zone of the system of nappes of Obere Schieferhülle). Probably the intensive uplift of the zone of roots is active only since Pliocene or Pleistocene.

## Résumé

La comparaison des nivellements de précision effectués sur la ligne Lend—Tauern Tunnel—Lendorf durant les années 1906-09-10, 1949 et 1969-70-71 montre une augmentation systématique des différences d'altitude du Nord vers le Sud. On peut en déduire un soulèvement des Hohe Tauern de l'ordre de un millimètre par an. Le maximum du soulèvement est situé entre les stations de chemin de fer de Penk et de Kolbnitz.

Dans un profil transversal aux Hohe Tauern, la courbe des mouvements verticaux récents est à peu près parallèle à la limite supérieure du Pennique. Cette courbe est également conforme à la coupole de gneiss du massif de Hochalm-Ankogel. Mais le maximum de cette courbe est situé dans la zone redressée des racines, près de la bordure méridionale des Hohe Tauern (zone de Matrei, et zone de racines du système de nappes de la Schieferhülle supérieure). Il est probable que le soulèvement intense de la zone des racines est actif seulement depuis le Pliocène ou le Pleistocène.

## Über rezente Hebungen der Hohen Tauern

VON ERICH SENFTL

Der Vergleich zeitlich möglichst weit auseinanderliegender Wiederholungsmessungen von Nivellementlinien gibt uns Aufschluß über eventuelle lokale oder regionale Bewegungen eines bestimmten Gebietes in vertikaler Richtung.

Hier wollen wir uns im besonderen mit der Linie Lend—Badgastein—Tauern-tunnel—Mallnitz—Lendorf befassen, die bisher dreimal — in den Jahren 1906/1909/1910, 1949 und 1969/1970/1971 — gemessen wurde. Nachstehend wird über diese drei Nivellements berichtet und eine graphische Darstellung der Höhenvergleiche gegeben, die damit den Geologen zur Diskussion gestellt werden. Im wesentlichen ist der vorliegende Bericht eine Zusammenfassung von E. SENFTL, 1970 und 1972, in geschlossener Form.

### Das Nivellement von 1906/1909/1910

Der Bau des 8,5 km langen Eisenbahntunnels durch das Massiv der Hohen Tauern zwischen Bockstein und Mallnitz ermöglichte es dem k. u. k. Militär-Geographischen Institut, in den Jahren 1906 bis 1910 eine Nivellementverbindung zwischen dem Salzachtal im Norden und dem Möll- bzw. Drautal im Süden, quer zum Alpenhauptkamm, herzustellen. Sie verlief von Lend bis Klammstein

etwa 4 km auf der Straße und ab hier über Badgastein und durch den Tauern-tunnel bis Lendorf auf der Bahntrasse. Als Fixpunkte wurden — wie damals allgemein üblich — Höhenmarken, also Lochmarken gesetzt, und zwar eine im Fels (Höhenmarke 16002) etwa 1 km nördlich von Klammstein, je eine an der Kirche (Höhenmarke 16112) von Dorfgastein, an einem Haus (Höhenmarke 16113) und an der Kirche (Höhenmarke 16114) von Hofgastein sowie im Tauern-tunnel je eine in den Kammern 2 (Höhenmarke 16050), 5 (16054) und 7 (16057), die seitlich in den Fels der Tunnelröhre eingesprengt sind. Alle anderen sind an Bahnobjekten — Stationsgebäuden und Bahnwärterhäusern — angebracht.

Die Messung dieser Linie — sie erhielt die Nummer 310 — wurde in drei zeitlich getrennten Abschnitten ausgeführt: 1906 von Lend nach Badgastein (bis zur Höhenmarke 16041 am Beamtenwohnhaus südlich des Bahnhofs), 1909 von Badgastein durch den Tauern-tunnel bis zur Höhenmarke 16067 am Bahnwärterhaus Nr. 20 südlich von Mallnitz und schließlich 1910 vom Bahnwärterhaus Nr. 20 bis zur Höhenmarke 889 an der Haltestelle Lendorf (Bahnwärterhaus Nr. 153) der bereits bestehenden Linie Nr. 24 Spittal an der Drau—Lienz—Grenze.

### Das Nivellement von 1949

Mit Beginn der Neumessung des österreichischen Präzisionsnivellements (1947) wurden alle Linien vom Bahnkörper auf Straßen verlegt und dadurch der Anschluß an die Höhenfixpunkte erleichtert. Als solche wurden durchwegs Höhenbolzen im Fels, an Gebäuden, Brücken usw. gesetzt und die Höhenmarken des Militär-Geographischen Institutes nach Möglichkeit im Seitennivellement angeschlossen. Das geschah auch auf der Linie 310, die nun die Nummer 333 erhielt. Hier wurden aber von den alten Höhenmarken nur die bequem erreichbaren wieder mit einbezogen, nicht jedoch jene, die weitab vom Nivellementweg liegen oder wo die Bahntrasse hoch über der Straße verläuft. Das schien in Anbetracht der Schwierigkeit der Einmessung auch nicht unbedingt notwendig, um so mehr als damals das Problem der Gebirgsbewegung noch nicht aktuell war.

Der routinemäßige Vergleich mit dem Nivellement des Militär-Geographischen Institutes ließ sowohl nördlich als auch südlich des Tunnels keine klare Aussage hinsichtlich einer eventuellen regionalen Bewegung zu, einerseits wegen der offensichtlich starken lokalen Senkungen der verschiedenen Objekte, andererseits wegen der zu geringen Zahl von identen Punkten (siehe Abb. 1, „Höhenvergleiche“, Diagramm I, punktierte Linie).

Anders jedoch im Tauern-tunnel selbst: hier zeigte sich (ohne Berücksichtigung der unmittelbar außerhalb des Tunnels liegenden Höhenmarken) von der Höhenmarke 16050 (Kammer 2) über die Höhenmarke 16054 (Kammer 5) bis zur Höhenmarke 16057 (Kammer 7) auf 4,7 km eine Zunahme der Höhenunterschiede um  $\pm 19$  mm! Es mag auf den ersten Blick vielleicht bedenklich erscheinen, diese verhältnismäßig alten Messungen des Militär-Geographischen Institutes zu einem so kritischen Höhenvergleich heranzuziehen. Man muß jedoch beachten, daß die Messungen im Tunnel unter geradezu idealen atmosphärischen Bedingungen vor sich gehen und auch ein Fehler im Latten-

meter wegen des geringen Höhenunterschiedes nicht ins Gewicht fällt. Die Nivellierlatten hatten bereits eine Einrichtung zur Bestimmung des Temperatur- und Feuchtigkeitseinflusses auf das Lattenmeter. Sicher wird man dem Nivellement aus 1909 eine geringere Genauigkeit zuerkennen, doch muß bei der Größe des Betrages von 19 mm nach einer anderen Ursache gesucht werden. Es drängt sich zwangsläufig die Vermutung auf, daß es sich um eine Bewegung des ganzen Gebirges handeln könnte. Um diese Annahme zu prüfen, wurde für 1969 eine neuerliche Messung — vorläufig nur durch den Tunnel — geplant. Nach zwanzig Jahren müßte sich ja etwa der halbe Effekt zeigen, der bei der heutigen Meßgenauigkeit bequem zu erfassen wäre.

Obwohl mir die Hypothese einer Bewegung des Gebirges noch nicht ausreichend gesichert schien, stellte ich dieses vorläufige Ergebnis für das I. Symposium über rezente Erdkrustenbewegungen (Leipzig, 1962) zur Verfügung (siehe den Bericht von M. TOPERCZER in „Erstes Internationales Symposium . . .“, 1962).

### Das Nivellement von 1969

Eine vorbereitende Erkundung deckte die betrübliche Tatsache auf, daß von den drei Höhenmarken im Tunnel nur noch jene in der Kammer 7 vorhanden war, während die Höhenmarken in den Kammern 2 und 5 durch den Einbau automatischer Signaleinrichtungen verloren waren. Zur dauerhaften Stabilisierung für die Zukunft wurde daher im Tunnel im Abstand von 500 Metern — bei jedem halben und ganzen Bahnkilometer — und zusätzlich noch bei Kammer 7 zum bequemen Anschluß der noch bestehenden Höhenmarke 16057 je ein Höhenbolzen gesetzt, insgesamt also 18.

Der Vergleich der Messungen von 1969 und 1949 zeigte nun tatsächlich den erwarteten Effekt im Sinne einer weiteren Zunahme des Höhenunterschiedes (bezogen auf die Strecke Kammer 2 — Kammer 7) um etwa + 5 mm. Das ist allerdings nur die Hälfte des extrapolierten Wertes. Die Ursache hierfür liegt entweder in der sicherlich geringeren Genauigkeit der Messungen aus dem Jahr 1909 oder die vermutete Bewegung des Gebirges erfolgt nicht gleichmäßig. Vielleicht wirken auch beide Faktoren zusammen.

Damit ist aber noch kein Beweis für eine Hebung des Gebirges im Süden erbracht, es könnte sich ja ebensogut um eine Senkung des nördlichen Teiles handeln.

Um hier eventuell eine Entscheidung fällen zu können, wurde für 1970 bzw. 1971 auch die Neumessung der Teilstücke Tunnel/Südportal—Lendorf bzw. Lend—Tunnel/Nordportal vorgesehen. Die noch vorhandenen (1949 zum Teil leider nicht eingemessenen) Höhenmarken des Militär-Geographischen Institutes sollten diesmal nach Möglichkeit alle angeschlossen werden.

### Das Nivellement von 1970/71

Die Messung von 1970 auf dem Teilstück Tunnel/Südportal—Lendorf bestand (wie 1949) aus einem durchgehenden Nivellement auf der Straße, aber mit einigen Seitenästen zu den alten Höhenmarken auf der Bahntrasse. 1949 wurden von den 22 Altpunkten sieben eingemessen, 1970 jedoch zwanzig. Nur zwei

Höhenmarken in der Gegend des Falkensteintobels konnten nicht einbezogen werden.

Die Messung 1971 umfaßte die Strecke Lend—Tunnel/Nordportal. Das Hauptnivellement verlief wieder auf der Straße, während die Höhenmarken des Militär-Geographischen Institutes im Seitennivellement angeschlossen wurden, und zwar 1949 von den noch vorhandenen 17 Altpunkten elf, 1971 dagegen alle 17. Damit war jetzt das Vergleichsmaterial wesentlich umfangreicher als 1949.

Diese Seitennivellements erforderten in einigen Fällen die Überwindung großer Höhenunterschiede und waren auf dem oft sehr schmalen Bahnkörper der einleisigen und kurvenreichen Strecke nicht ungefährlich.

### Die Höhenvergleiche

(siehe Abb. 1)

Es sei gleich vorweggenommen, daß hier außer einer kurzen allgemeinen Beschreibung der Linienführung nur die reinen Meßergebnisse dargestellt werden sollen. Ihre geologische Interpretation wird im Anschluß an diesen Bericht im Detail von Herrn Prof. CH. EXNER gegeben

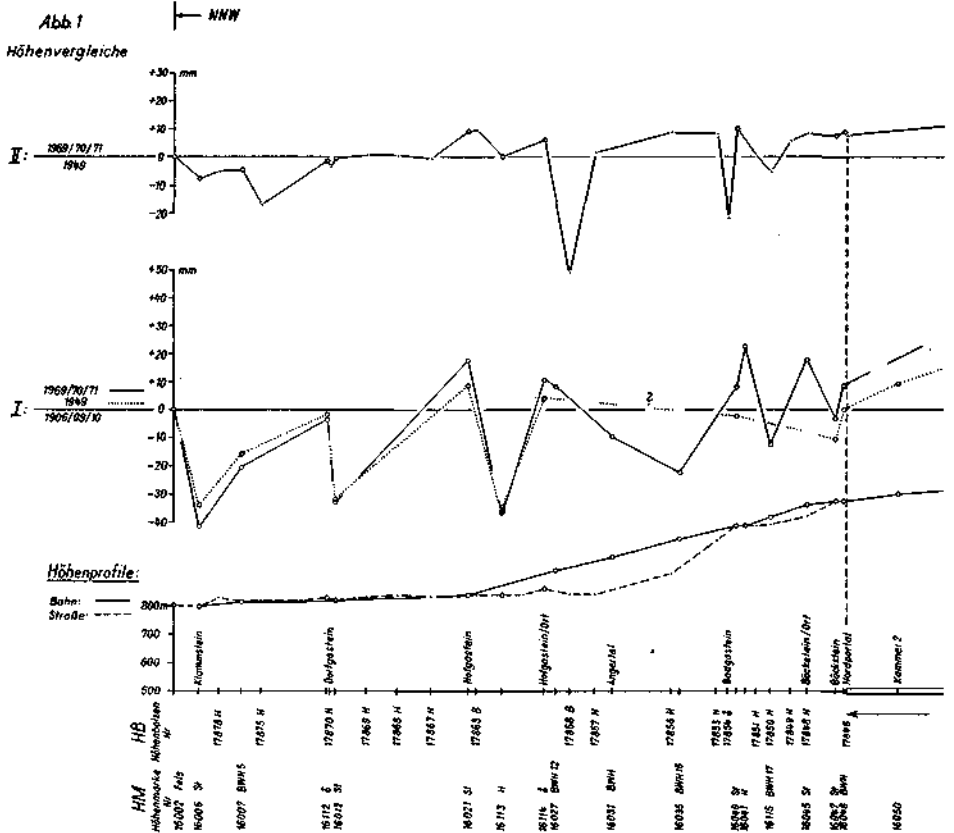
Im unteren Teil der Abbildung 1 sind die Höhenprofile der beiden Nivellementwege dargestellt, durch die volle Linie die Bahntrasse, durch die unterbrochene Linie der Verlauf der Straße (im Bereich des Tunnels fallen natürlich beide Wege zusammen). Am unteren Rand sind die Höhenmarken (HM) aus 1906/1909/1910 mit den Nummern 16002 bis 16115 und 889, die Höhenbolzen (HB) aus 1949 mit 17785 bis 17878 und 18502 bezeichnet. Es bedeutet ferner: St = Stationsgebäude; BWH = Bahnwärterhaus; H = Haus; B = Brücke. Die Höhenmarken sind durch einen kleinen Kreis, die Höhenbolzen durch einen Punkt markiert.

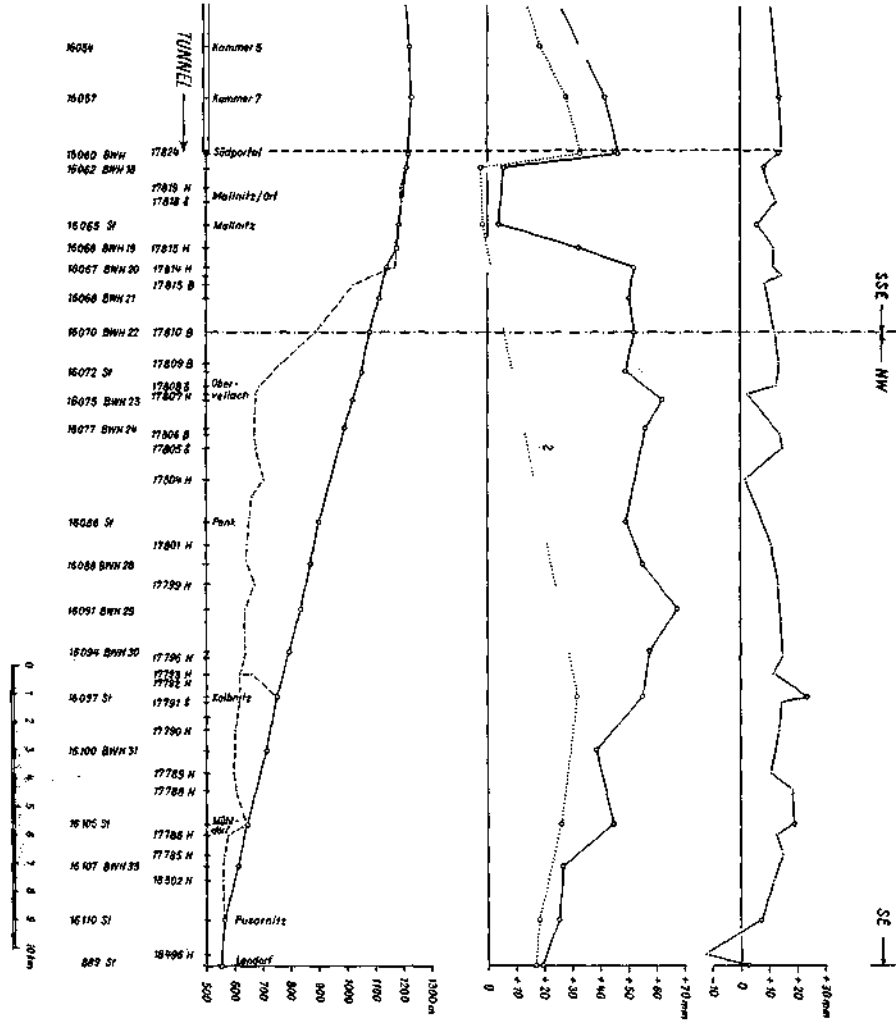
Im Diagramm I darüber sind die Höhenänderungen der Höhenmarken zwischen den Messungen von 1949 (punktierte Linie) bzw. von 1969/1970/1971 (volle Linie) und den Werten des Militär-Geographischen Institutes von 1906/1909/1910 (als Nullmessung) aufgetragen.

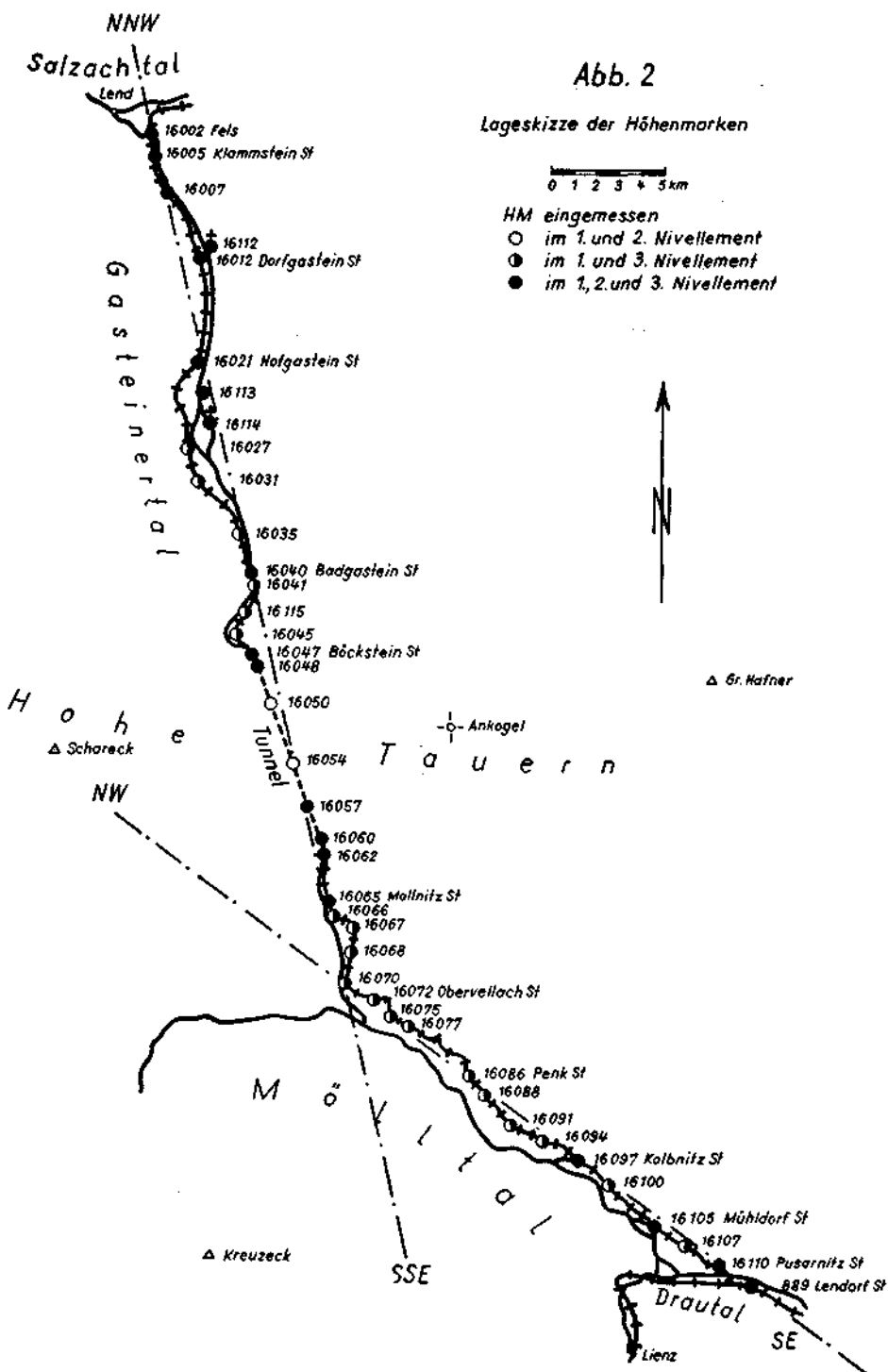
Das obere Diagramm II zeigt die Änderungen zwischen 1949 (als Nullmessung) und 1969/1970/1971. Diagramm I vergleicht also die alten Höhenmarken des Militär-Geographischen Institutes, Diagramm II die Höhenbolzen an der Straße sowie zusätzlich jene Höhenmarken des Militär-Geographischen Institutes, die 1949 angeschlossen wurden und daher zur Stützung der Aussagen von Diagramm I dienen können.

Als Ausgangspunkt wurde für beide Vergleiche die schon eingangs erwähnte Höhenmarke 16002 im Fels nördlich von Klammstein gewählt.

Diagramm I: Im ersten Abschnitt bis zum Tauerntunnel fällt sofort der sehr unruhige Verlauf der Höhenänderungen auf. Das Nivellement auf der Bahntrasse verläuft von Klammstein Stationsgebäude bis Hofgastein Stationsgebäude im Talboden unmittelbar am Ufer der Gasteiner Ache, überwindet die Geländestufe bis Badgastein Stationsgebäude hinauf am westlichen Hang und geht dann am Osthang über Bockstein Stationsgebäude zum Nordportal des Tauerntunnels im Anlaufftal.









Starke Senkungen wechseln hier mit deutlichen Hebungen ab, wobei jedoch die Tendenz der Änderungen für jeden Punkt durch Diagramm II bestätigt wird.

Eindeutig sind jedoch die Ergebnisse im Sinne einer Zunahme der Höhenunterschiede im zweiten Abschnitt, im Bereich des Tunnels selbst, die ebenfalls in Diagramm I eine Stütze finden. Darüber wurde schon weiter oben (Nivellement von 1949 bzw. 1969) berichtet.

Im dritten Abschnitt verläuft die Bahntrasse am östlichen bzw. nordöstlichen Hang meist hoch über dem Mölltal und erreicht erst zwischen Pusarnitz Stationsgebäude und Lendorf Stationsgebäude den Talboden der Drau.

Unmittelbar südlich des Tunnels scheint die Hebung zwischen dem Südportal und dem Bahnwärterhaus 20 (Höhenmarke 16067) auf einer Strecke von etwa vier Kilometern unterbrochen zu sein. Sie steigt aber bereits beim Bahnwärterhaus 19 (Höhenmarke 16066) schon deutlich an und erreicht beim Bahnwärterhaus 20 etwa zwei Kilometer südlich von Mallnitz Stationsgebäude wieder einen Betrag, der einer kontinuierlichen Fortsetzung der Hebung entsprechen würde. Die Hebung nimmt dann noch weiter zu und hat ihr Maximum — unter Berücksichtigung lokaler Senkungen — etwa bei Penk Stationsgebäude (Höhenmarke 16086) mit rund 70 mm, um dann in Richtung Lendorf wieder abzunehmen. Daß die Hebungen auch hier mit einer gewissen Regelmäßigkeit erfolgen, geht aus den Höhenänderungen der Punkte Kolbnitz Stationsgebäude (Höhenmarke 16097), Mühldorf Stationsgebäude (Höhenmarke 16105) und Pusarnitz Stationsgebäude (Höhenmarke 16110) hervor, die zu allen drei Epochen eingemessen wurden.

**D i a g r a m m II:** Diese Nivellements sind technisch sicher gleichwertig.

Im nördlichen Teil liegt die Straße bis Hofgastein/Ort unmittelbar am rechten Ufer der Gasteiner Ache, geht südlich des Ortes auf das linke Ufer über und ab Höhenbolzen 17857 in einem Steilstück am westlichen Hang nach Badgastein hinauf. Ab hier bleibt sie am östlichen Rand des Tales und führt südlich von Bockstein nach einem weiteren Steilstück ins Anlaufthal zum Tunnel-Nordportal.

Wie schon erwähnt, wird hier die Tendenz der (lokalen) Senkungen und der Hebungen von Diagramm I bestätigt. Wir können aber bereits einen Unterschied zwischen Diagramm I und II in der Größenordnung der Effekte feststellen: die Senkungen erreichen in Diagramm II nicht mehr den Betrag, den man für sie aus Diagramm I ableiten könnte (z. B. Höhenmarken 16005, 16007, 16012, 16113). Anders verhalten sich jedoch die Hebungen, die ihren extrapolierten Wert oft überschreiten (z. B. Höhenmarken 16021, 16114, 16040). Die verschiedenen Objekte kommen — lokal gesehen — offenbar langsam zur Ruhe, so daß sich der regionale Hebungseffekt schon deutlicher abzeichnet.

Die Ergebnisse der Messungen im Bereich des Tauerntunnels wurden bereits oben dargelegt.

Im südlichen Abschnitt verläuft die Straße zuerst durch das schon bekannte Senkungsgebiet von Mallnitz. Danach überwindet sie die obere Geländestufe auf der westlichen Talseite, geht dann auf das östliche Ufer des Mallnitzbaches und über eine zweite Steilstufe am nordöstlichen Hang nach Obervellach ins Mölltal hinunter. Die Bahntrasse liegt hier etwa 370 Meter über der Straße.

Diese verläuft nun weiter im Talboden der Möll bis Möllbrücke — ein Stück auch südlich des Flusses — und dann im Drautal nach Lendorf.

Dieser Vergleich der Nivellements auf der Straße liefert kein so ausgeprägtes Bild wie jener auf der Bahntrasse und ist ebenfalls von lokalen Senkungen beeinflusst. Die alten Höhenmarken 16097, 16105 und 16110 bestätigen jedoch, wie schon in Diagramm I erwähnt, die Hebungstendenz. Bei den Höhenmarken 16097 (Kolbnitz Stationsgebäude) und 16105 (Mühldorf Stationsgebäude), die noch am Berghang liegen, ist der Effekt sichtlich größer als bei den benachbarten Talpunkten und überschreitet wieder die nach Diagramm I zu erwartenden Werte.

Soweit die Meßergebnisse. Vielleicht können sie dazu beitragen, unsere Kenntnisse — oder Hypothesen — über das Problem der Alpenhebungen zu untermauern!

Wie aktuell heute dieses Problem ist, zeigte sich auf der „Zusammenkunft zur Aufstellung eines Programmes zur Feststellung tektonischer vertikaler Bewegungen in den Alpen“, die von E. HUBER, Direktor der Eigenössischen Landestopographie, für den 18. und 19. April 1972 nach Bern einberufen worden war (J. J. LEVALLOIS, 1972). Eingeladen waren Vertreter der Schweiz, der Bundesrepublik Deutschland, Frankreichs, Italiens und Österreichs, also jener Länder, die Anteil an den Alpen haben. Außer diesem österreichischen Beitrag über vertikale Bewegungen in den Hohen Tauern wurde für die Schweiz von F. JEANRICHARD ein Höhenvergleich des wiederholten Nivellements auf der Linie Basel—Luzern—St. Gotthard—Bellinzona—Chiasso vorgelegt (1971). Die Ergebnisse sind sehr ähnlich: auch hier liegt das Maximum der Hebung im Betrag von etwa 1 mm pro Jahr am Südabfall des Gebirges. Die französischen Messungen bestätigen ebenfalls die rezenten Hebungen der Alpen.

In Zusammenarbeit mit den Geologen wurden für die kommenden Jahre jene Nivellementlinien ausgewählt, deren Nachmessung für das hier behandelte Problem von Bedeutung ist. Ebenso wurde die Anlage bestimmter neuer Linien bzw. von Liniestücken geplant, die dann in fernerer Zukunft weitere interessante Aufschlüsse über die vertikalen Erdkrustenbewegungen im Alpenraum geben werden.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, auch hier der Bundesbahndirektion Villach für das weitgehende Entgegenkommen zu danken, durch das sie unsere Messungen erst ermöglicht hat: dem Sachwalter für Vermessung OBR Dipl.-Ing. LERNBASS und seinem Nachfolger OBR Dipl.-Ing. ALDRIAN, vor allem aber dem Direktionsrat Dipl.-Ing. KLAUSCHER, der schon 1949 unsere Arbeiten — auch die Schweremessungen — tatkräftig unterstützt und immer mit größtem Interesse verfolgt hat.

### Literatur

Erstes Intern. Symposium über rezente Erdkrustenbewegungen vom 21. bis 26. Mai 1962 in Leipzig, DDR. — Abh. d. Deutschen Akad. Wiss., Kl. f. Bergbau, Hüttenwesen und Montangeologie, H. 2, 107—110, Akademie-Verlag, Berlin 1962.

JEANRICHARD, F.: Contribution à l'étude du mouvement vertical des Alpes. — XVI<sup>ème</sup> Assemblée Générale de l'UGGI, Moscou, URSS, 1—14 août 1971, 13 S., Moskau 1971.

- LEVALLOIS, J. J.: Sur la mise en evidence d'un mouvement de surrection des massifs cristallins. — Bull. Géodésique, N. S., H. 105, 299—312, Paris 1972.
- SENFTEL, E.: Ein Beitrag zum Nachweis rezenter Bewegungen in den Hohen Tauern. — Österr. Zschr. f. Vermessungswesen, 58, H. 2, 41—47, Wien 1970.
- SENFTEL, E.: Über rezente Hebungen in den Hohen Tauern. — Manuskript, vorgelegt bei der „Zusammenkunft zur Aufstellung eines Programmes zur Feststellung tektonischer vertikaler Bewegungen in den Alpen“, 18. und 19. April 1972 in Bern, 6 S.

## Geologische Interpretation der rezenten Hebungskurve im Querschnitt durch die Hohen Tauern

VON CHRISTOF EXNER

Die folgenden Ausführungen gehen auf einen Erfahrungsaustausch mit Herrn Obervermessungsrat Dr. E. SENFTEL, wissenschaftliche Abteilung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in Wien, zurück. Wir sind bereits seit Jahren bezüglich der rezenten Hebung der Hohen Tauern auf Grund des ersten Wiederholungsnivellements und dessen Publikation im Leipziger Symposium über rezente Erdkrustenbewegungen (E. SENFTEL, M. TOPERCZER, 1962) im Gespräch.

Das zweite Wiederholungsnivellement, das in den Jahren 1969, 1970 und 1971 speziell mit der Blickrichtung auf diese Fragestellung durchgeführt wurde, hat nun zusätzliche wichtige Belege für den rezenten Hebungsvorgang des Gesteinskörpers der Hohen Tauern relativ zu den im Norden und Süden angrenzenden ostalpinen Einheiten erbracht. Nimmt man die Höhenmarke, die am Hauptklammkalkzug in der Gasteiner Klamm angebracht ist, als Nullpunkt und somit als Hauptbezugspunkt der relativen Skala, wie dies für die Kurven rezenter Hebungsbeträge Nr. I und II der Abbildung 1 geschehen ist, so ergibt sich folgendes:

Die maximale rezente Hebung beträgt rund 70 mm in 60 Jahren, das entspricht etwa 1,2 mm pro Jahr. Sie spielt sich am Südrande des Tauernfensters in der Wurzelzone des Deckensystems der Oberen Schieferhülle und der penninischen bis unterostalpinen Schuppen der Matreier Zone ab. Diese sind auch tatsächlich steil aufgerichtet und sogar aberrant rückgefaltet, analog der Insubrischen Rückbiegung in der Wuzelzone der Westalpen. Die maximalen Werte liegen im Bereiche zwischen Penk und Kolbnitz im Mölltal.

Allgemein zeigt das unmittelbar nördlich daran anschließende Gebiet der Sonnblicklamelle mit ihrer Hülle und mit der Mallnitzer Synform mit den vertikal aufgebogenen und ebenfalls rückgefalteten Gesteinslagen im Abschnitt Dösenmündung (südlich Mallnitz), Obervellach bis Penk sehr beträchtliche Hebungswerte, die beinahe an das Maximum heranreichen.

In der Hölltor-Antiform (Tauerntunnel) erfolgt ein stetiger Abfall der Hebungskurve nach Norden, die dann im Bereich von Böckstein (Gasteiner Quermulle) nur niedrige Werte anzeigt. Vielleicht spielt hier rezente Bewegung am NNE-streichenden Gasteiner Kluftsystem mit Absenkung der Ostscholle (Ankogelgruppe) gegen die aufsteigende Westscholle (Siglitzgneis) eine Rolle, worauf die vermuteten unterirdischen Wasserwege der Gasteiner Therme hinweisen.

Jedenfalls erreicht westlich der Gasteiner Thermalklüfte die rezente Hebung wieder einen hohen Betrag (Beamtenhaus beim Bahnhof Badgastein) und fällt gegen den Tauern-Nordrand (Gasteiner Klamm) ab.

Südlich des Tauern-Südrandes nimmt die rezente Hebung im Gebiete des altkristallinen Gneises der ostalpinen Decke ab. Die Kurven I der Abbildung 1 würden eventuell eine rezente Hebung des Drautales vermuten lassen, doch schwächt Kurve II eine solche eher ab.

Vergleichen wir nun die bisher angeführten wesentlichen Merkmale der Hebungskurve mit dem vollkommen unabhängig davon ermittelten geologischen Bau der Hohen Tauern, so ergibt sich eine gewisse Übereinstimmung. Es zeigen nämlich die geologischen Querprofile durch diesen Abschnitt der Hohen Tauern eine Struktur mit domförmiger Aufwölbung über Göss-Antiform und Bockhartgewölbe des Hochalm-Ankogel-Massives, steilem Abfall zum Altkristallin der ostalpinen Decke im Drautal und mit einem langen, durch Detailstrukturen komplizierteren Abfall bis zur Klammkalkzone nach Norden. Und zwar kann man zu diesem Vergleich die obere Grenzfläche des Penninikum und die genannte Tiefenstruktur des Hochalm-Ankogel-Massives (Göss-Antiform und Bockhartgewölbe) in folgenden Profilen heranziehen: Querprofil durch das Tauern-Ostende (EXNER, 1954, Tafel II), Querprofil durch die Hohen Tauern bei Gastein (1957, Tafel III), Serienschnitte durch das Bockhartgewölbe (1964, Tafel 2, rechte Hälfte) und durch die Göss-Antiform (1971, Tafel 2, Profile IV bis VI).

Eine gewisse Ähnlichkeit zwischen der rezenten Hebungskurve des Tauernkörpers und den geologischen Hauptstrukturen ist somit in erster Annäherung gegeben.

Die von den Geologen schon längst angenommene „junge Hebung“ der Hohen Tauern wirkt also rezent weiter. Auch das ist schon oft vermutet worden und scheint nunmehr geodätisch mit großer Wahrscheinlichkeit bewiesen zu sein.

Nun liefert aber die Betrachtung der geodätischen Meßdaten noch einige zusätzliche Details, die für die Geologie der Hohen Tauern interessant sind und deshalb in den folgenden Kapiteln näher ausgeführt seien.

### **Relativbewegung zwischen Höhenmarke und anstehendem Fels**

Da die Höhenmarken des Nivellements der Jahre 1906, 1909 und 1910 mit einer Ausnahme (Gasteiner Klamm) an künstlichem Mauerwerk angebracht sind, ist die Möglichkeit von Relativbewegungen zum Felskörper des Gebirges gegeben. Dabei sind Setzungserscheinungen, und zwar sowohl natürlich bedingte, als auch künstlich bedingte Setzungen, ins Auge zu fassen. Gemeinsam ist den Setzungsbewegungen, daß sie geopetal erfolgen und nur negative Auszackungen und Ausbuchtungen der Hebungskurve bewirken können.

Zu den natürlichen Setzungserscheinungen gehören natürliche Sackungen an Berghängen und das, was ich als **s ä k u l a r e K o m p a k t i o n** von Lockergesteinen, z. B. Bergsturzblockwerk, Bachschuttkegel und Talalluvionen, bezeichnen möchte. Nähere Daten über die bisher quantitativ unbekannte säkulare Kompaktion der Sedimente in Gebirgsgegenden des gemäßigten Klimas dürften

sich aus der Hebungskurve ableiten lassen (z. B. Höhenmarke an der Kirche Dorfgastein; altes Bauwerk über mächtigen Talalluvionen). Es scheint sich die vertikale Hebung des felsigen Gebirgskörpers nicht ungemindert bis an die Oberkante der mächtigen Talalluvionen in den Trogtälern der Hohen Tauern fortzupflanzen. Das langsame Kompaktwerden (säkulare Kompaktion) der Lockersedimente wirkt dem Hebungsvorgang wahrscheinlich entgegen. Dabei dürfte es sich um langsame Schließung der Zwischenräume zwischen den Gesteinskomponenten (Bergsturzblockwerk, Geröllhalden, Geschiebe von Bachschuttkegeln) und zwischen den Mineralkörnern (Verminderung des Porenvolumen in Sanden und Silt) handeln. Mitunter mag dadurch nur eine teilweise Verminderung der Hebungintensität hervorgerufen werden, wofür die Hebungskurve ebenfalls Beispiele liefert (z. B. Kirche in Bad Hofgastein).

Künstliche Setzungserscheinungen sind baugelogisch bedingt. Sie wirkten sich an den künstlich aufgeschütteten Bahndämmen, Bahnhofsanlagen und Stützmauern aus. Vor allem erfolgten solche künstlich bedingte Setzungen kurz nach der Erbauung der Tauern-Eisenbahnstrecke und der zugehörigen Objekte. Sie gingen dementsprechend in die Resultate des ersten Wiederholungsnivellements ein. Sie bedingen hauptsächlich die negativen Ausschläge (Klammstein bis Bahnhof Böckstein) und die breite negative Ausbuchtung (Mallnitz) der Kurven I auf Abbildung 1. Später dürften sich die künstlichen Setzungen beruhigt haben, da die Hebungskurve des zweiten Wiederholungsnivellements weniger markante negative Ausschläge zeigt.

### **Feldgeologische Beurteilung der Situation der einzelnen Höhenmarken**

Gemeinsam mit Herrn Obervermessungsrat Dr. E. SENFTL wurden im Juni 1972 Geländebegehungen durchgeführt und sämtliche Höhenmarken besichtigt.

Die feldgeologische Beurteilung erfolgt auf Grund der Erfahrungen, die der Verfasser anlässlich der geologischen Kartierung der Kartenblätter Gastein, Sonnblickgruppe und der Kartenskizzen Mölltal und Südostecke des Tauernfensters schon früher gesammelt hatte. Eine ganz große Hilfe für die Beurteilung der baugelogischen Situation stellen die geologischen Berichte von F. BECKE und F. BERWERTH über die Beschaffenheit der Baugruben während des Eisenbahnbaues der Tauernstrecke dar. Damals wurden Beobachtungen über den Untergrund des Bahnkörpers und der Bahnhofanlagen gewonnen und von diesen beiden verlässlichen Beobachtern festgehalten. Es boten sich einmalige Einsichten, die heute durch Vegetation und Verbauung verdeckt sind. In beschränktem Ausmaße konnten Informationen, ob an den betreffenden Stellen der Bahntrasse, Bahnwärterhäuser und Stationsgebäude Geländeanschnitte oder künstliche Anschüttungen (Deponie) vorliegen, einem „Ausführungs-Lageplan“ im Maßstabe 1 : 1000 der gesamten Tauernbahnstrecke entnommen werden, den uns in zuvorkommender Weise die Direktion Villach der Österreichischen Bundesbahnen zur Einsichtnahme zur Verfügung stellte. Dieses aus der Zeit des Bahnbaues stammende, einmalige Dokument wird im folgenden Text mit Ausführungs-Lageplan Villach erwähnt. Außerdem stand uns für die geologische Beurteilung

der Situation der Höhenmarken die gesamte wissenschaftliche geologische Tauernliteratur zur Verfügung.

Im folgenden werden topographische Lage und geologische Situation mitsamt Literaturhinweisen für die Beurteilung der einzelnen Höhenmarken gekennzeichnet. Das geschieht von dem Gesichtspunkt aus, daß man, nur auf einer gründlichen geologischen Detailbeobachtung basierend, die einzelnen Zacken und Ausbauchungen der Hebungskurve geologisch-genetisch diskutieren kann. Außerdem soll damit eine Dokumentation begonnen werden, die sicherlich dem geologischen Interpretieren eines zukünftigen Wiederholungsnivellements der gleichen Strecke willkommen sein wird.

Die Höhenmarken werden in der Reihenfolge von links nach rechts behandelt (siehe Abb. 1).

Höhenmarke 16002: Fels. Gasteiner Klamm. Bei der markanten Straßenbiegung, ca. 200 m NNE P. 788 (österreichische Karte 1 : 25.000). Klammkalk des mächtigen mittleren Klammkalkzuges. Siehe geologische Kartenskizze von W. FISCH (1932). Der Fels ist durch keinerlei Hangbewegung gestört, was auch dadurch belegt ist, daß die flach WNW geneigte Lineation des Klammkalkes bei der Höhenmarke in das regionale Gefüge streng eingeregelt ist.

Höhenmarke 16005: Stationsgebäude der Haltestelle Klammstein, P. 797. Die geomorphologische Situation läßt erkennen, daß es sich hier um ein natürliches Staubecken fluvioglazialen oder postglazialen Alters südlich der Klammkalkschwelle handelt. Geschichteter Kies mit Sandlagen ist derzeit am orographisch rechten Hangfuß unter Bergsturzblockwerk in einem künstlichen Straßenanschnitt aufgeschlossen. BECKE (1904, p. 409) berichtet: „Bemerkenswert war hier das Auftreten bei 10 m noch nicht durchsunkener Schlammablagerungen in der fjordartigen Talenge, welche bei der Fundierung der Achenbrücke Schwierigkeiten machte.“ Das Stationsgebäude hat sich anscheinend ungleichmäßig gesenkt (Beobachtung von E. SENFTL, welche ich bestätigen kann). Der Ausführungs-Lageplan Villach verzeichnet Deponie als Baugrund.

Höhenmarke 16007: Bahnwärterhaus, knapp nordwestlich Sagschneider der österreichischen Karte 1 : 25.000. Das Haus steht auf Bachschuttkegel, der vom rechten Hang herabzieht. Unter dem Bachschuttkegel dürften sich Alluvionen der Gasteiner Ache befinden, welche mindestens mehrere Meterzehner mächtig sind.

Höhenmarke 16112: Kirche Dorfgastein. Die Kirche ist bedeutend älter als die Vermessung und dürfte sich als Bauwerk längst stabilisiert haben. Sie steht auf dem großen Bachschuttkegel des Mayrhofbaches. Darunter befinden sich wahrscheinlich mächtige Alluvionen des Gasteiner Tales.

Höhenmarke 16012: Stationsgebäude der Haltestelle Dorfgastein, P. 823. Künstliche Aufschüttung als Fundament des Stationsgebäudes. Darunter mächtige Alluvionen des Gasteiner Tales.

Höhenmarke 16021: Stationsgebäude des Bahnhofes Bad Hofgastein. Einige Meter Lockersedimente. Darunter ist anstehender Grünschiefer, eventuell auch Kalkglimmerschiefer zu erwarten. Die Lockersedimente dürften aus Material des benachbarten Bachschuttkegels, der vom linken Hang längs der vier Mühlen nördlich P. 840 (österreichische Karte 1 : 25.000) herabzieht, außerdem eventuell

aus Bergsturzmaterial und Alluvium des Gasteiner Tales bestehen. Der seicht darunter zu erwartende anstehende Fels entspricht dem Hauptgrünschieferzug der nördlichen Tauernschieferhülle mit kleinen Einschaltungen von Kalkglimmerschiefer. Dieser steil N-fallende, über 100 m mächtige Grünschieferzug stellt die tektonisch widerstandsfähigste Lage im Faltenbau der nördlichen Tauernschieferhülle dar. Er bildet den harten Pfeiler unter der Geißkarkopf-Falte. Geomorphologisch bedingt dieses sehr widerstandsfähige Gestein die Talenge und die Richtungsänderung des Gasteiner Tales beim Bahnhof Bad Hofgastein (Siehe: Geologische Karte der Umgebung von Gastein und unterstes Profil der Tafel V in den zugehörigen Erläuterungen.)

Der am südlichen Brückenpfeiler der Brücke P. 835 angebrachte Höhenbolzen 17863 befindet sich in analoger Position, nicht weit vom anstehenden Grünschiefer.

Höhenmarke 16113: Haus Gallwies, P. 835 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Das Haus wurde angeblich während des Bahnbaues, etwa um das Jahr 1904, erbaut. Es steht auf Moräne und Gehängeschutt des rechten Talhanges. Im Untergrund ist Schwarzphyllit zu erwarten. Moräne und Gehängeschutt dürften wenig stabil dem steilen Berghang anlagern.

Höhenmarke 16114: Kirche in Bad Hofgastein. P. 858 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Die Kirche ist bedeutend älter als die Vermessung und dürfte sich als Bauwerk längst stabilisiert haben. Sie steht auf dem Bachschuttkegel des Kirchbaches. Darunter dürften sich mächtige Alluvionen des Gasteiner Tales, eventuell auch Bergsturzblockwerk (vom gegenüberliegenden Mauskarkogel-Bergsturz) befinden.

Höhenmarke 16027: Bahnwärterhaus Nr. 12 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Westhang des Gasteiner Tales zwischen Bad Hofgastein und Hundsdorf. Das Bahnwärterhaus steht auf Bergsturzmaterial des Mauskarkogel-Bergsturzes (EXNER, 1952). Gegenwärtig beobachtet man in der unmittelbaren Umgebung des Hauses kleinstückiges Blockwerk (5 bis 10 cm Blockdurchmesser), bestehend aus Kalkglimmerschiefer und Schwarzphyllit. Das Blockwerk dürfte über 50 m mächtig sein. Darunter liegt verrutschter Schwarzphyllit. BECKE (1904) beobachtete während des Bahnbaues „enorme Blöcke von Grünschiefer in lockerem, erdig zersetztem Material mit prachtvollen Aufschlüssen in einem großartigen Bergsturzgebiet. Die Blöcke bedecken in unruhiger Terrainform den westlichen Talabhang vom Laidalpbach bis zum Weitmoser Viadukt“.

Höhenmarke 16031: Brückenwärterhaus bei Haltestelle Angertal. P. 975 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Gehängelehm über Angertalmarmor. Das künstlich terrassierte Gelände der Haltestelle zeigt teilweise künstliche Anschüttung. Der Ausführungs-Lageplan Villach gibt an, daß das Brückenwärterhaus zur Hälfte über künstlicher Anschüttung und zur Hälfte im Anschnitt des Gehänges (Gehängelehm) errichtet ist. Die Höhenmarke befindet sich über jenem Teil des Hauses, der auf der künstlichen Anschüttung steht.

Höhenmarke 16035: Bahnwärterhaus Hinterschneeberg (österreichische Karte 1 : 25.000). Sackung im Siglitzgneis. Das Haus steht in der Mulde dieser Einsackung. Das Lockermaterial, auf dem das Bahnwärterhaus erbaut ist, besteht aus etwa 10 m mächtigem Siglitzgneis-Blockwerk, dessen einzelne Blöcke 2 bis 3 m Durchmesser aufweisen. Darunter folgt anstehender Siglitzgneis.

Höhenmarke 16040: Stationsgebäude des Bahnhofes Badgastein, P. 1089 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Unter dem Bahnhofsgelände dürfte sich maximal 20 m mächtige Moräne des Gschnitzstadium (BECKE, 1904; KLEBELSBERG, 1949; EXNER, 1957) befinden. Darunter steht Granitgneis an. BECKE (1904) schildert, daß „durch die Bahnhofanlage eine ausgezeichnete halbhufeisenförmige Endmoräne angeschnitten worden ist“. Der Ausführungs-Lageplan Villach meldet Anschnitt, wahrscheinlich in der Moräne.

Höhenmarke 16041: Beamtenwohnhaus der Österreichischen Bundesbahnen in Badgastein. 150 m nordnordwestlich P. 1085 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Auf Grund der Geländebeschaffenheit und der Eintragung im Ausführungs-Lageplan Villach ist anzunehmen, daß das Haus unmittelbar auf Granitgneis erbaut ist. Wenige Meter neben dem Haus steht Granitgneis an. Seine s-Flächen liegen aberrant horizontal. Er gehört der tektonisch verstellten Scholle von Badgastein an, welche auf der geologischen Umgebungskarte von Gastein abgegrenzt ist.

Höhenmarke 16115: Bahnwärterhaus Nr. 17 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Östlich Hirschau. Das Bahnwärterhaus steht auf etwa 5 m mächtigem Gehängeschutt über gelockertem, von offenen Klüften durchzogenem Granitgneis. Die Orientierung der s-Flächen des Granitgneises ist aberrant und zwar: Streichen N 32° E, Fallen 22° ESE. Es handelt sich um den gelockerten Sockel des großen Bergsturzgebietes der Hohe Stuhl-Nordwestflanke (siehe geologische Karte der Umgebung von Gastein!).

Höhenmarke 16045: Stationsgebäude der Haltestelle Bockstein. P. 1152 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Das Gebäude steht auf künstlicher Mauer und Anschüttung, die dem Berghang folgt, welcher teils anstehenden Granitgneis, teils Granitgneisblockwerk mit 2 m Blockdurchmesser aufweist.

Höhenmarke 16047: Stationsgebäude des Bahnhofes Bockstein. P. 1171 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Das Gebäude steht auf künstlich aufgeschüttetem Terrain, wahrscheinlich Deponie aus dem Tauerntunnel. Diese künstliche Aufschüttung ist jedenfalls viele Meter dick und dürfte den Alluvionen des Anlauf-ales aufrufen.

Höhenmarke 16048: Kabelhaus-Nord. Es handelt sich um P. 1173 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Das Kabelhaus steht auf dem terrassierten Bahnhofsgelände Bockstein, etwa 12 m vom Nordportal des Tauerntunnels entfernt. Der Ausführungs-Lageplan Villach verzeichnet Anschnitt. BECKE (1902) teilt mit, daß hier der Bachschuttkegel des Höhkarbaches bei den Bauarbeiten weitgehend künstlich abgetragen wurde.

Die Mauerung des Nordportales des Tauerntunnels dürfte dem Bachschuttkegel des Höhkarbaches aufrufen. Sie zeigt nach SENFEL (1970, p. 45) für die letzten zwanzig Jahre gleiches Verhalten wie Kabelhaus-Nord.

Höhenmarken 16050, 16054 und 16057. Es handelt sich um die Kammern Nr. 2, 5 und 7 des Tauerntunnels. Das Gestein, welches die Kammern umgibt, ist anstehender Granitgneis (BECKE und BERWERTH, 1905). Die Kammern sind mit schweren Granitgneisquadern ausgemauert, auf denen jeweils die Höhenmarke angebracht wurde.



Höhenmarke 16060: Kabelhaus-Süd, ca. 12 m vom Südportal des Tauern-tunnels entfernt. Das Haus steht über künstlich terrassiertem Gehängeschutt. Anstehender Glimmerschiefer der Seebachzone befindet sich in 20 bis 25 m Horizontaldistanz. Der Ausführungs-Lageplan Villach zeigt „Anschnitt“. BERWERTH (1902) berichtet über recht mächtigen Gehängeschutt, gerade dort, wo das südliche Mundloch des Tunnels angeschlagen war. Das Tunnel-Südportal wurde im Jahre 1906 weiter nach außen verlegt (BERWERTH, 1907, Nr. 10). Somit dürfte im Bereiche von Kabelhaus-Süd der ursprüngliche, aus Gehängeschutt bestehende Hang weitgehend künstlich abgetragen worden sein.

Höhenmarke 16062: Bahnwärterhaus, ca. 25 m nördlich des südlichen Blatt-randes der österreichischen Karte 1 : 25.000, Sektion 155/3, und zwar zwischen Bahngeleise und Seebachtalstraße. Das Haus steht auf künstlich aufgeschüttetem Damm über Bachschuttkegel und Alluvionen. Die Alluvionen waren während des Eisenbahnbaues etwas weiter südlich aufgeschlossen, und zwar handelte es sich um Seesande des einstigen großen natürlichen Stausees des Mallnitzer Beckens (BERWERTH, 1907, Nr. 10). Diese Sedimente sind über 100 m mächtig. Eine Bohrung beim Stapitzer See erreichte 100 m unter der Talsohle noch nicht den Felsuntergrund (KLEBELSBERG, 1951; EXNER, 1957). Bautätigkeit kann zu Schwimmsanden Veranlassung geben. Auch künstlicher Wasserentzug der porösen Sande kann eine Volumverminderung und damit ein Nachsacken der Alluvionen hervorrufen.

Höhenmarke 16065: Stationsgebäude des Bahnhofes Mallnitz. BERWERTH (1907, Nr. 10) beobachtete, daß sich das Gelände des Bahnhofes Mallnitz auf der flachen, aus Schotter und Sanden gebildeten mittleren Terrasse des Mallnitzer Seebeckens befindet. Der natürliche Mallnitzer Stausee wurde durch den Auernig-Bergsturz interglazial oder knapp nach dem Ende der Würmeiszeit gestaut (EXNER, 1964). Die Kiese und Sande des Mallnitzer Stauseebeckens waren im Bahnhofsgelände Mallnitz während des Baues aufgeschlossen. Das Stationsgebäude steht auf diesen Alluvionen. In 150 m Horizontaldistanz vom Stationsgebäude bildet Grünschiefer anstehende Felswände. Das Stationsgebäude steht knapp an der Kante der Alluvialterrasse. Auch die derzeitige starke Bautätigkeit im Umkreis des Bahnhofes dürfte mit Wasserentzug und daher mit Volumänderung in den Sanden verknüpft sein.

Höhenmarke 16066: Bahnwärterhaus, 75 m westnordwestlich des Nordportals des Dösen-Tunnels (österreichische Karte 1 : 25.000). Das Haus steht auf Alluvium. In 4 m Horizontalentfernung befindet sich Bergsturzblockwerk des Auernig-Bergsturzes. Das Alluvium transgrediert seicht auf dem Bergsturzmateriale. Die geologische Karte der Sonnblickgruppe zeigt die ostkonvexe Ausbuchtung dieses seichten Randalluviums des Mallnitzer Staubeckens. 10 bis 20 m nördlich des Bahnwärterhauses befindet sich im Alluvium eine Mulde mit hohem Grundwasserstand (nasse Wiesen und Bach).

Höhenmarke 16067: Bahnwärterhaus, knapp südlich des Waldmanngraben-Viadukts (österreichische Karte 1 : 25.000). Wahrscheinlich ist das Haus auf anstehendem Kalkglimmerschiefer erbaut. Ein solcher Aufschluß befindet sich in 5 m Horizontaldistanz. Der Ausführungs-Lageplan Villach zeigt wahrscheinlich „Anschnitt“.

Höhenmarke 16068: Bahnwärterhaus, knapp südlich des Auergaben-Viadukts (österreichische Karte 1 : 25.000). Der Teil des Bahnwärterhauses, an dem die Höhenmarke angebracht ist, dürfte auf anstehendem Kalkglimmerschiefer aufliegen, der übrige Teil des Hauses auf künstlicher Stützmauer, die die steile Talflanke absichert (Ausführungs-Lageplan Villach). Der Kalkglimmerschiefer ist heute in 4 m Horizontaldistanz von der Höhenmarke zu beobachten. Seine s-Flächen sind im Zuge des Faltenbaues hier lokal N-fallend, was auch durch die Aufnahmen von BERWERTH (1907, Nr. 10) und HAMMER (1927) bestätigt wurde und nichts mit sekundärer Hangtektonik (Sackungen) zu tun hat. Die s-Flächen streichen N 134° E und fallen 72° NE.

Höhenmarke 16070: Bahnwärterhaus. Bei P. 1080 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Bergkante zwischen Möll- und Mallnitztal. Derjenige Teil des Bahnwärterhauses, auf dem sich die Höhenmarke befindet, steht auf anstehendem quarzreichem Kalkglimmerschiefer. Dieser tendiert zu Karbonatquarzit. Die s-Flächen streichen N 5° E und fallen 64° E. Dieselbe Querstruktur ist auch tiefer hangabwärts an der Straße aufgeschlossen.

Höhenmarke 16072: Stationsgebäude des Bahnhofes Obervellach. P. 1057 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Der Gebäudeteil mit der Höhenmarke befindet sich etwa an der Grenze über anstehendem Kalkglimmerschiefer und künstlicher Stützmauer, welche dem Kalkglimmerschiefer des Steilhangs aufruft. Der Ausführungs-Lageplan Villach bestätigt dies. Die s-Flächen des Kalkglimmerschiefers streichen N 110° E und fallen 80° N.

Höhenmarke 16075: Bahnwärterhaus Nr. 23 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Beim Südportal des Unteren Kaponigtunnels, westlich Gatterinig. Der Teil des Hauses, der auch die Höhenmarke trägt, befindet sich in einem Einschnitt auf anstehendem Kalkglimmerschiefer. Dieser streicht N 134° E und fällt 62° NE. Ein übriger Teil des Bahnwärterhauses steht auf künstlicher Anschüttung.

Höhenmarke 16077: Bahnwärterhaus Nr. 24 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Nahe vom Westportal des Oberen Lindischtunnels, südwestlich Huber. Das Haus steht in einem Einschnitt auf anstehendem Kalkglimmerschiefer. Dieser streicht N 126° E und fällt 42° NE.

Höhenmarke 16086: Stationsgebäude des Bahnhofes Penk, P. 899 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Breites terrassiertes Bahnhofsgelände über anstehendem Augengranitgneis der Sonnblicklamelle. Der Ausführungs-Lageplan Villach zeigt beim Stationsgebäude „Anschnitt“. Es ist nicht klar, ob das Gebäude auf angeschüttetem Terrain oder auf Granitgneis fundiert ist. Etwa 30 m von der Höhenmarke entfernt wurde der Gneis in einem Steinbruch gebrochen. Er streicht N 144° E und fällt 46° NE.

Höhenmarke 16088: Bahnwärterhaus Nr. 28 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Ostnordöstlich Kirche Penk. Der Teil des Hauses mit der Höhenmarke befindet sich auf anstehendem Karbonatquarzit innerhalb der Kalkschiefer im Liegenden der Sonnblickgneis-Lamelle (BERWERTH, 1908). Den Karbonatquarzit kann man in 8 m Horizontaldistanz von der Höhenmarke beobachten. Er streicht N 125° E und fällt 52° NE. Der äußere Teil des Bahnwärterhauses dürfte über künstlicher Anschüttung erbaut sein.

Höhenmarke 16091: Bahnwärterhaus. P. 831 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Matreier Zone. Geomorphologisch auffallende Furche nördlich des Danielsberges. Die Matreier Zone und die Wurzel des Deckensystems der Oberen Schieferhülle sind im Untergrund dieser Furche im Abschnitt des Rieckenbaches bei Oberkolbnitz aufgeschlossen (EXNER, 1962). Es ist interessant, daß die Hebungskurve hier ihr Maximum besitzt. Das Bahnwärterhaus steht in einem künstlichen Einschnitt, der in einem heute gänzlich bewachsenen, sanften, aufschlußlosen Hang angelegt ist. Nach BERWERTH's Beobachtungen während des Eisenbahnbaues (1908) „liegt die Strecke hier auf einem massigen Moränenlager“, in dem auch erratische Blöcke beobachtet wurden. Der Hang ist trocken und nur schwach geneigt. Die Moräne dürfte standfest sein.

Höhenmarke 16094: Bahnwärterhaus. Auf der österreichischen Karte 1 : 25.000 trägt es irrtümlich die Nummer „29“. Auf Tafel 1 ist es richtig als „BWH 30“ gekennzeichnet. Es befindet sich ca. 220 m westlich Zaggonig, P. 831, nördlich Oberkolbnitz. Das Bahnwärterhaus steht in einem Einschnitt, in dem Moräne aufgeschlossen ist. 2 m unter dem Bahnwärterhaus steht Augengranitgneis der Sonnblicklamelle an. Er streicht N 142° E und fällt 54° NE.

Höhenmarke 16097: Stationsgebäude des Bahnhofes Kolbnitz. P. 747 der österreichischen Karte 1 : 25.000. Das Stationsgebäude befindet sich in einem künstlichen Einschnitt im steilen Hang. Im Einschnitt steht Kalkglimmerschiefer mit Moränenbedeckung an. Das Stationsgebäude dürfte auf anstehendem Kalkglimmerschiefer errichtet sein. Der Kalkglimmerschiefer fällt nach Norden und gehört ins Hangende der Sonnblick-Gneislamelle. Hier liegt das Hebungsmaximum der Kurve II der Abbildung 1.

Höhenmarke 16100: Bahnwärterhaus. Östlich Klinzer Schlucht. Ca. 575 m nordwestlich P. 600 der österreichischen Karte 1 : 50.000. Auf der Alten Österreichischen Landesaufnahme 1 : 25.000, Sektion 5251/3, befindet sich die Lokalität bei „Möslacher“. Mächtige Moräne. Es handelt sich um einen wulstigen, verhältnismäßig steilen Hang ohne Felsaufschlüsse. Man befindet sich hier wiederum am Rande des Tauernfensters, vertikal über der Wurzel des Deckensystems der Oberen Schieferhülle und Matreier Zone. Die Sonnblickgneislamelle steht höher oben am Hang, der altkristalline ostalpine Paragneis tiefer unten (bei Mühlendorf) an (siehe geologische Skizze des Südrandes des Tauernfensters im unteren Mölltal [EXNER, 1962, Tafel 19]). Das Bahnwärterhaus ist auf Moräne errichtet.

Höhenmarke 16105: Stationsgebäude des Bahnhofes Mühlendorf/Möllbrücke. Anstehender granatführender Paragneis des Altkristallins der ostalpinen Decke ist in jenem künstlichen Anschnitt des Steilhanges gut aufgeschlossen, in welchen das Stationsgebäude hineingebaut wurde. Es ist also anzunehmen, daß das Stationsgebäude mehr oder weniger unvermittelt diesem Fels aufsitzt (siehe dazu auch BERWERTH [1908] und EXNER [1954, Tafel I]). In den Hebungskurven I und II der Abb. 1 beginnt hier zugleich mit dem Eintritt in die ostalpine Decke der deutlich abfallende Ast der Kurven. Wir befinden uns hier etwa 550 m südwestlich des Quarzphyllites der Matrei-Katschberg-Zone.

Höhenmarke 16107: Bahnwärterhaus knapp östlich des Viaduktes Metnitz der österreichischen Karte 1 : 50.000. Das Haus steht auf künstlich aufgeschüttetem Grund in einem alten Tälchen, das im Paragneis des Altkristallins der ost-

alpinen Decke eingeschnitten ist. Die Lokalität befindet sich ca. 600 m südöstlich des Quarzphyllites der Matri-Katschberg-Zone.

Höhenmarke 16110: Stationsgebäude des Bahnhofes Pusarnitz, österreichische Karte 1 : 50.000. Das Stationsgebäude ist über Alluvium des Lurnfeldes im vereinigten Möll- und Drautal errichtet. 150 m nordöstlich des Stationsgebäudes ragt ein aus anstehendem Paragneis des ostalpinen Altkristallins bestehender Inselberg aus den Alluvionen heraus. Das Stationsgebäude befindet sich etwa 750 m südsüdwestlich des Quarzphyllites der Matri-Katschberg-Zone.

Höhenmarke 889: Stationsgebäude der Haltestelle Lendorf, P. 549 der österreichischen Karte 1 : 50.000. Alluvialgebiet des Lurnfeldes. In der Nähe befinden sich Sand- und Kiesgruben. Die Horizontalentfernung vom Stationsgebäude zum Quarzphyllit der Matri-Katschberg-Zone beträgt ca. 1300 m.

### Geologische Interpretation

Auf Grund der soeben im Detail mitgeteilten Situation der geodätischen Höhenmarken wurde eine Auswahl getroffen. Es wurden nur die Höhenmarken in der Hebungskurve der Abbildung 3 berücksichtigt, welche die Bewegungen des anstehenden Fels anzuzeigen scheinen. Das sind solche Höhenmarken, die unmittelbar am anstehenden Fels (Klammkalk) oder in Mauerwerk unmittelbar auf oder zumindest in nächster Nähe von anstehendem Fels oder über trockener standfester Moräne angebracht sind. Da der Verlauf des geodätischen Nivellements zwischen Gasteiner Klamm und Eisenbahnstation Obervellach annähernd einem NNW-Schnitt durch die Hohen Tauern folgt, konnte der Vergleich mit einem schematischen geologischen Vertikalschnitt durch die Hohen Tauern im selben Bereich und mit derselben Orientierung angestrebt werden. Dazu mußten dann allerdings die außerhalb des Profiles befindlichen restlichen Höhenmarken der Tauerneisenbahn-Südrampe zwischen Station Obervellach und Lendorf im Drautal in die Profilebene projiziert werden. Vom geologischen Gesichtswinkel aus ist dies ohneweiters zulässig, da die steilstehenden Gesteinszonen der Wurzelzone dieses Bereiches streng parallel der Möll-Drau-Furche streichen. Bei der Konstruktion der Hebungskurve auf Abbildung 3 gestattete ich mir die Annahme, daß auch die Projektion der geodätischen Höhenmarken in besagte Profilebene denkbar und in unserem Falle probeweise vorläufig einmal durchführbar sei. Es ist zumindest mit dieser Konstruktion eine einfach verständliche, anschauliche und genetisch plausible geologische Interpretation der geodätischen Beobachtungswerte gewonnen.

Da es dem Nicht-Geologen mitunter schwer fällt, sich die einst auflastenden Gesteinsmassen über dem heute vorhandenen Gebirgsrelief vorzustellen, wurden diese im geologischen Profil der Abbildung 3 bis 5 km über den höchsten Punkt des derzeitigen Reliefs (Ankogel) anschaulich ergänzt. Der Nicht-Geologe sei auch darauf hingewiesen, daß diese Ergänzung nicht willkürlich ist, sondern auf wohlfundierten geologischen Detailstudien längs der Katschbergzone beruht.

Bei der Sitzung des Redaktionskomitees für die tektonische Karte von Europa in Prag im Jahre 1962 hat Professor N. I. NIKOLAJEW (Sowjetunion) vorgeschlagen, in internationaler Zusammenarbeit eine Karte der rezenten Tektonik

Europas im Maßstabe 1 : 2,500.000 herauszubringen. Er legte Entwürfe dazu aus dem Gebiete der Sowjetunion und eine ausführliche Anleitung und Legende zum Entwurf der erwünschten Beiträge anderer europäischer Länder vor. Man einigte sich damals in Prag dahingehend, diese Karte vorläufig besser als „neotektonische Karte“ zu bezeichnen, da über Gegenwartsbewegungen doch noch zu wenig bekannt sei. Man empfahl den Mitgliedstaaten, Entwürfe zur neotektonischen Karte auszuarbeiten und an Professor NIKOLAJEW nach Moskau zu senden. Verfasser wurde dann vom damaligen Direktor der Geologischen Bundesanstalt in Wien, Herrn Prof. Dr. H. KÜPPER, mit dem neotektonischen Entwurf für Österreich betraut. Der Entwurf wurde im Maßstabe 1 : 1,000.000 auf Grund der Absenkung der Jungtertiärbecken und der Hebung der Zentralalpen unter Berücksichtigung der Erdbeben-Hypozentren und des jungtertiären Vulkanismus von CH. EXNER in Zusammenarbeit mit Herrn Chefgeologen Hofrat Dr. R. GRILL gezeichnet. Er wurde im Jahre 1963 nach Moskau und zu Vergleichszwecken auch in die Schweiz gesendet, wo Herr Direktor Dr. A. SPICHER (Schweizerische Geologische Kommission) ebenfalls eine neotektonische Karte der Schweiz als Entwurf ausarbeitete. Ich konstruierte damals für die Hohen Tauern eine Hebung seit Beginn des Jungtertiärs um 6 km, was auch von F. KARL (1966) auf Grund der Ergebnisse der geologischen Kartierung gemeinsam mit O. SCHMIDEGG als Überdeckung der Großvenedigermasse mit Gesteinsauflast von etwa 6 bis 7 km bestätigt wurde. Ebenso konnte dieser Wert gut als Vergleich zu den noch höher gehobenen penninischen Serien der Schweiz (Entwurf A. SPICHER) dienen. Rechnet man mit der Annahme gleichmäßiger Hebung der Hohen Tauern seit Basis Jungtertiär (ca. 25 Millionen Jahre vor der Gegenwart), so kommt man auf den Wert von ca. 0,24 mm Hebung pro Jahr.

Bisher nahmen wir an, daß sich die Tauern auch in der Gegenwart, also rezent heben (z. B. EXNER, 1951). Das scheint ja nun geodätisch bestätigt zu sein. Ein wesentlich neues Ergebnis stellt die geodätische Beobachtung der maximalen rezenten Hebung in der Wurzelzone dar (Abb. 3). Das dürfte ein Hebungsakt sein, der erst in jüngster geologischer Zeit wirksam ist und daher in den neotektonischen Karten (seit Basis Miozän) weniger in Erscheinung tritt. Auch in den von OXBURGH et al. (1971) radiometrisch ermittelten Abkühlungsaltern scheint er noch nicht auf, da die Abkühlungsalter der Glimmer im Badgasteiner Bereich (Zentrum des Tauernfensters) ähnlich denen in der Wurzelzone des Mölltales sind. Man wird annehmen dürfen, daß die kräftige Hebung der Wurzelzone erst seit wenigen Jahrmillionen (seit Pliozän oder Pleistozän) wirksam ist. Mechanisch dürfte es sich dabei um Unterschiebung des bereits teilweise erodierten Stumpfes der ostalpinen Decke (Altkristallin der Kreuzekgruppe) unter den bildsamen Tauernkörper handeln. Dieser quillt fächerförmig in der Wurzelzone auf. So könnte man die rezente maximale Hebung in der Wurzelzone interpretieren.

In diesem Zusammenhang ist es sehr interessant, daß das Wiederholungsniveau durch die Schweizer Alpen längs der Linie Basel—Vierwaldstätter See—Gotthard—Airolo—Bellinzona—Lugano—Chiasso ebenfalls maximale rezente Hebungswerte der penninischen Decken des Tessins erbracht hat (F. JEANRICHARD, 1972). Die Größenordnung ist analog derjenigen der Hohen Tauern, nämlich um 1 mm Hebung pro Jahr. Aar- und Gotthardmassiv werden

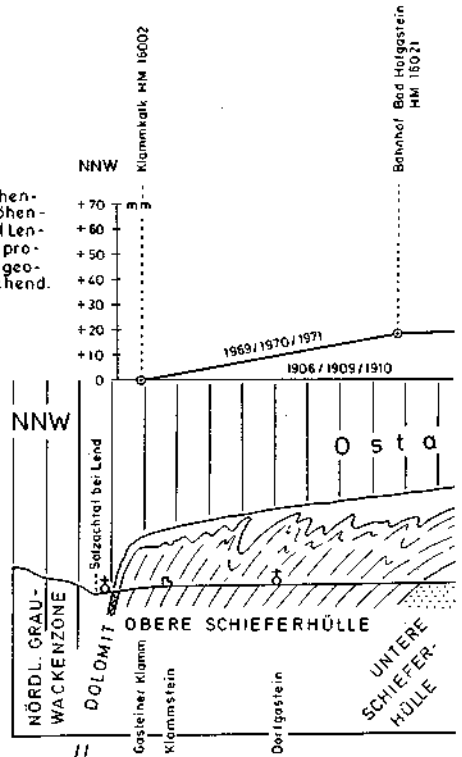
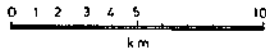
# Ch. EXNER 1972: GEOLOGISCHE INTERPRETATION DER REZENTEN HEBUNGSKURVE DURCH DIE HOHEN TAUERN

## Rezente Hebung

Berücksichtigt wurden Höhenmarken über anstehendem Fels oder standfestem Untergrund. Die Höhenmarken vom Bahnhof Obervellach bis Drautal (Lendorf) wurden in die Profilebene des Mölltales projiziert, dem sehr regelmäßigen geradlinigen geologischen Streichen der Wurzelzone entsprechend.

## Geologisches Profil durch die Hohen Tauern

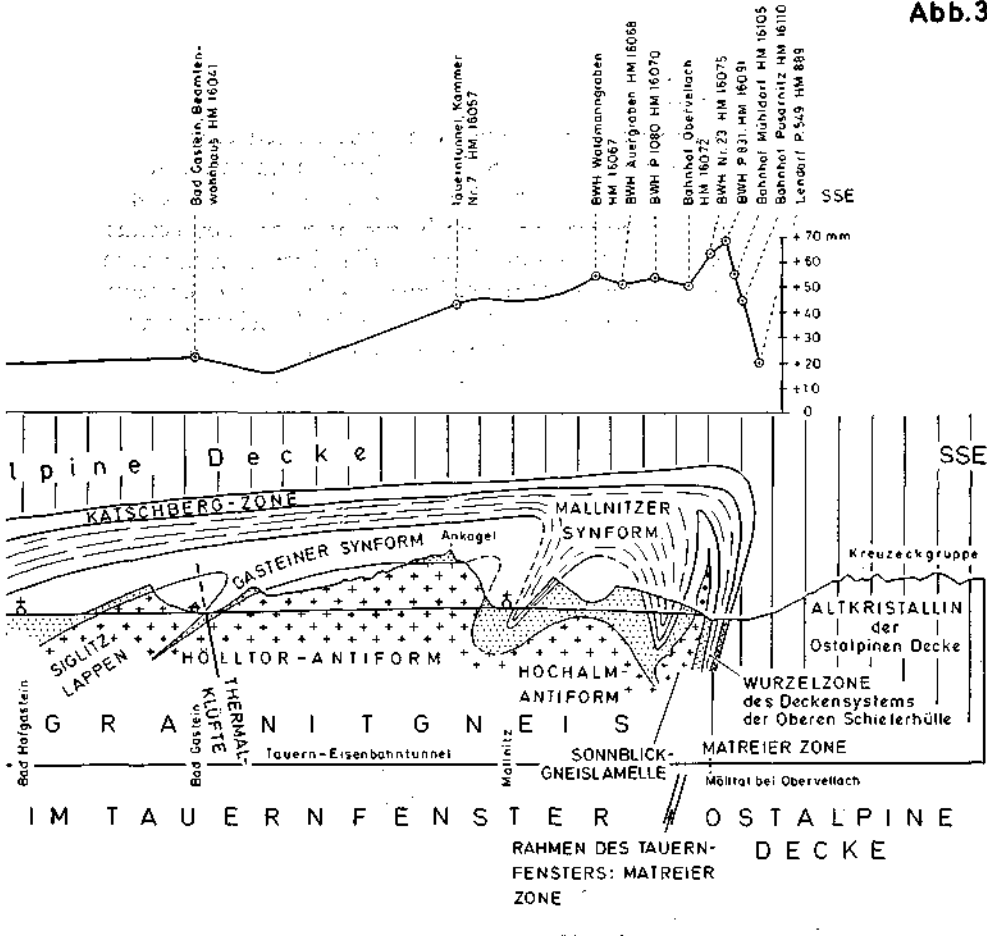
Der Vertikalschnitt folgt dem Verlauf des Nivellements zwischen Gasteiner Klamm und Obervellach. Er ist nach NNW und SSE etwas verlängert (Salzachtal und Kreuzeckgruppe). Die einst den Hohen Tauern auflastenden und infolge junger Hebung erodierten Gesteinskörper wurden teilweise rekonstruiert.



OSTALPINE DECKE // PENNINIKUM  
RAHMEN DES TAUERN-FENSTERS: UNTEROST-ALPINE SCHUPPEN

L 72

Abb. 3



bedeutend schwächer rezent gehoben als das Gebiet der penninischen Decken des Tessins. In den Südalpen fällt die Hebungskurve ab. Die Molasse nördlich der Alpen und das Juragebirge weisen rezente Senkung auf.

Das Prinzip der Hebung der penninischen Zone der Alpen und mithin auch der Hohen Tauern infolge Verlagerung leichter Geosynklinalsedimente und sialischer Granitkörper im Zuge der alpidischen Gebirgsbildung in tiefere Lagen der Erdkruste bleibt wohl auch heute noch aufrecht: Isostatische Ausgleichsbewegungen erzeugen die rezent andauernde vertikale Hebung, die ihrerseits wiederum durch exogene Abtragung teilweise kompensiert wird, so daß die Berge nicht in den Himmel wachsen! Über die Massenverteilungen im Untergrund der Hohen Tauern gibt es auf Grund von Schwermessungen und Refraktionsseismik neue schematische Profildarstellungen (J. MAKRIŠ, 1971, Abb. 15 und G. ANGENHEISTER et al., 1972, Texttafel 3).

Als Fernziel werden neben den vertikalen, auch die horizontalen und schräg nach oben und unten wirkenden rezenten Verschiebungsbeträge zu untersuchen sein (P. BANKWITZ, 1971).

Methodisch besonders empfehlenswert, weil nach geologischer Voraussicht kräftige rezente Vertikalbewegungen beinhaltend, wäre die Durchführung von geodätischen Nivellements und späteren Wiederholungsnivellements quer zum Rande des Tauernfensters und zwar nach Möglichkeit mit Anbringung von Höhenbolzen im anstehenden Fels, zu dessen Beurteilung ein Geologe als Berater mitwirken sollte. Empfehlenswert sind folgende Strecken:

Torscharte (quer zur Katschbergzone, siehe CH. EXNER, 1949) längs der Strecke: Maltinger Alpl—Torscharte P. 2106—Gmein Alm P. 2038 der österreichischen Karte 1 : 50.000.

Katschberghöhe (quer zur Katschbergzone) längs des teilweise fahrbaren Weges: Haus Almfried—Hanslhütte—Katschberghöhe P. 1641—Pareibner Alm P. 1742:

Ausserfragant (Matreier Zone) längs der Straße: Innerfragant—Ausserfragant—Gössnitz.

Großglockner-Hochalpenstraße zwischen Iselsberg und Heiligenblut (Querung der Matreier Zone).

Sehr zu empfehlen wäre auch ein Nivellement durch die gesamten Hohen Tauern und ihren geologischen Rahmen längs der Felbertauernstraße auf der Strecke zwischen Kitzbühel und Lienz.

## Literatur

- ANGENHEISTER, G., BÖGEL, H., et al.: Recent Investigations of Surficial and Deeper Crustal Structures of the Eastern and Southern Alps. — Geol. Rundschau, 61, 349—395, Stuttgart 1972.
- BANKWITZ, P.: Geologische Auswertung von geodätisch ermittelten rezenten Krustenbewegungen im Gebiet der DDR. — Petermanns Geographische Mitteilungen, 115, 130—140, Gotha und Leipzig 1971.
- BECKE, F.: Bericht über die nördliche Mündung des Tauerntunnels bei Bockstein und über den Fortgang der geologischen Beobachtungen am Nordende des Tauerntunnels. — Anzeiger Akad. Wiss. Wien, Jahrg. 1902, Nr. 10, 117—118 und 20, 281—284, Wien 1902.



- BECKE, F.: Bericht über den Fortgang der geologischen Beobachtungen am Tauerntunnel. — Anzeiger Akad. Wiss. Wien, Jahrg. 1904, 407—410, Wien 1904.
- BECKE, F., & BERWERTH, F.: Skizze des geologischen Längenschnittes des Tauerntunnels im Maßstabe 1 : 10.000. — Nicht veröffentlichtes Dokument im Archiv der Baudirektion der Österr. Bundesbahn in Villach, 1905.
- BERWERTH, F.: Bericht über die Einleitung von geologischen Beobachtungen und die ersten Aufschlüsse im Südflügel des Tauerntunnels. — Anzeiger Akad. Wiss. Wien, Jahrg. 1902, 118—119, Wien 1902.
- BERWERTH, F.: Achter und neunter Bericht über den Fortgang der geologischen Beobachtungen im Südflügel des Tauerntunnels. Erster und zweiter Bericht über die Aufschlüsse an der Südrampe der Tauernbahn. — Anzeiger Akad. Wiss. Wien, Jahrg. 1907, Nr. 10, 142—147 und 17, 280—289, Wien 1907.
- BERWERTH, F.: Dritter (letzter) Bericht über die geologisch-petrographischen Aufschlüsse an der Südrampe der Tauernbahn. — Anzeiger Akad. Wiss. Wien, Jahrg. 1908, 294—298, Wien 1908.
- EXNER, CH.: Beitrag zur Kenntnis der jungen Hebung der östlichen Hohen Tauern. — Mitteilungen Geograph. Gesellschaft in Wien, 91, 186—196, Wien 1949.
- EXNER, CH.: Der rezente Sial-Tiefenwulst unter den östlichen Hohen Tauern. — Mitt. Geol. Ges. Wien, 39—41, 75—84, Wien 1951.
- EXNER, CH.: Prähistorischer Bergsturz des Mauskarkogels bei Bad Hofgastein. — Bad Gasteiner Badeblatt, Jahrgang 1952, Nr. 11, 1—8, Bad Gastein 1952.
- EXNER, CH.: Die Südost-Ecke des Tauernfensters bei Spittal an der Drau. — Jahrb. Geol. Bundesanstalt Wien, 97, 17—37, Wien 1954.
- EXNER, CH.: Geologische Karte der Umgebung von Gastein, 1 : 50.000. — Verlag d. Geol. Bundesanstalt Wien, 1956.
- EXNER, CH.: Erläuterungen zur geologischen Karte der Umgebung von Gastein, 1 : 50.000. — 168 S., Verlag d. Geol. Bundesanstalt Wien, 1957.
- EXNER, CH.: Sonnblicklamelle und Mölltalinie. — Jahrb. Geol. Bundesanstalt Wien, 105, 273—286, Wien 1962.
- EXNER, CH.: Geologische Karte der Sonnblickgruppe, 1 : 50.000. — Verlag d. Geol. Bundesanstalt Wien, 1962.
- EXNER, CH.: Erläuterungen zur geologischen Karte der Sonnblickgruppe, 1 : 50.000. — 170 S., Verlag d. Geol. Bundesanstalt Wien, 1964.
- EXNER, CH.: Geologie der peripheren Hafnergruppe (Hohe Tauern). — Jahrb. Geol. Bundesanstalt Wien, 114, 1—119, Wien 1971.
- EXNER, CH., & GRILL, R.: Neotektonische Karte von Österreich, Maßstab 1 : 1.000.000. — Nicht veröffentlichter Entwurf im Archiv der Geologischen Bundesanstalt Wien, 1963.
- FISCH, W.: Zur Geologie der Gasteiner Klamm. — *Eclogae Geol. Helvetiae*, 25, 131—138, Basel 1932.
- HAMMER, W.: Geologische Beobachtungen beim Bau des Wasserkraftwerkes bei Mallnitz (Kärnten). — Jahrb. Geol. Bundesanstalt Wien, 77, 29—62, Wien 1927.
- JEANRICHARD, F.: Contribution à l'étude du mouvement vertical des Alpes. — *Bolletino di Geodesia e Scienze Affini*, 31, Rom 1972.
- JEANRICHARD, F.: Contribution à l'étude du mouvement vertical des Alpes. Referiert in: J. J. LEVALLOIS: Sur la mise en évidence d'un mouvement de surrection des massifs cristallins alpins. — *Bulletin Géodésique, neue Serie*, Jahrg. 1972, No. 105, 299—312, Paris 1972.
- KARL, F.: Über die Zusammensetzung, Entstehung und gesteinsystematische Stellung tonalitischer Gesteine. — *Tschermaks Mineralog. Petr. Mitt.* (3. Folge), 11, 413—438, Wien 1966.
- KLEBELSBERG, R. VON: Ein alter Gletscherstand bei Bad Gastein. — *Bad Gasteiner Badeblatt*, Jahrg. 1949, Nr. 11, 1—7, Bad Gastein 1949.
- KLEBELSBERG, R. VON: Über die Tiefe der Alpentäler. — *Verhandl. Schweiz. Naturforsch. Ges.*, Jahrg. 1951, 10 S., Zürich 1951.
- LEVALLOIS, J. J.: Sur la mise en évidence d'un mouvement de surrection des massifs cristallins alpins. — *Bulletin Géodésique, neue Serie*, Jahrg. 1972, No. 105, 299—312, Paris 1972.

- MAKRIS, J.: Aufbau der Kruste in den Ostalpen aus Schweremessungen und die Ergebnisse der Refraktionsseismik. — Hamburger Geophysikalische Einzelschriften, 13, 1—71, Hamburg 1971.
- NIKOLAJEW, N. I.: Projet de la légende pour la carte internationale de la tectonique récente de l'Europe au 2,500.000. — Nicht veröffentlichter Bericht des Redaktionskomitees für die tektonische Karte von Europa, 7 S., Prag 1962.
- OXBURGH, E. R.: A Model for the Thermal History of the Tauernfenster. In: CLIFF, R. A., NORRIS, R. J., et al.: Structural, Metamorphic and Geochronological Studies in the Reisseck and Southern Ankogel Groups, the Eastern Alps. — Jahrb. Geol. Bundesanstalt Wien, 114, 121—272, Wien 1971.
- SENFEL, E.: Schwerekarte von Österreich, Bouguer-Isanomalien. — Herausgegeben vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (Landesaufnahme) in Wien, 1965.
- SENFEL, E.: Ein Beitrag zum Nachweis rezenter Bewegungen in den Hohen Tauern. — Österr. Zeitschr. f. Vermessungswesen, 58, 41—47, Baden bei Wien, 1970.
- SENFEL, E.: Über rezente Hebungen in den Hohen Tauern. Referiert in J. J. LEVALLOIS: Sur la mise en évidence d'un mouvement de surrection des massifs cristallins alpins. — Bulletin Géodésique, neue Serie, Jahrg. 1972, No. 105, 299—312, Paris 1972.
- TOPERCZER, M.: Über die Möglichkeit, in Österreich rezente Erdkrustenbewegungen aus dem Präzisionsnivellement abzuleiten. — Erstes internationales Symposium über rezente Erdkrustenbewegungen vom 21. bis 26. Mai 1962 in Leipzig, DDR. Abhandlungen der Deutschen Akad. d. Wiss. zu Berlin, Klasse für Bergbau usw., 107—110, Akademie-Verlag, Berlin 1962.